Impact hydro-sédimentaire des périodes de renforcement des Alizés sur les plages de la côte Nord de la Martinique

K. Bosser,

*Université Louis Pasteur, Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques,
3, rue de l'Argonne, 67 083 Strasbourg Cedex*

F. Levoy,

*Université de Caen, Groupe Géosciences, Equipe morphodynamique côtière -
GRESARC 14032 Caen cedex*

Résumé

Sur les côtes tropicales microtidales, les cyclones et les épisodes de renforcement des Alizés sont à l'origine des fortes houles. Cette publication présente les résultats d'une étude expérimentale effectuée au Nord de la Martinique, visant à évaluer les conditions hydrodynamiques et sédimentaires liées aux épisodes de renforcement des Alizés. Des bilans sédimentaires des plages et de l'avant-côte ont été effectués lors d'une journée de renforcement des Alizés, lors d'une saison sèche et enfin sur deux années. L'impact d'un épisode génère une érosion sur les plages supérieure à 27 % du volume initial. Sur une saison sèche, le bilan est toujours négatif, tandis que sur deux ans, il est équilibré, malgré le passage de cyclones modérés et de renforcement des Alizés. Il apparaît que les cyclones majeurs sont les principaux agents d'évolution du trait de côte de ces régions.

1. Introduction

Sur les côtes tropicales microtidales, le régime des houles, par les forces hydrodynamiques qu'elles engendrent, constitue le principal facteur d'érosion du trait de côte et d'érosion des plages. Les houles les plus dangereuses pour les côtes tropicales sont les houles longues [1] [2]. Deux situations météorologiques sont à l'origine des fortes houles: les cyclones et les épisodes de renforcement des Alizés. L'impact sédimentaire des cyclones a déjà fait l'objet de nombreux travaux, par contre, l'effet du renforcement du régime des Alizés sur les houles et le transport sédimentaire a été peu étudié. Or, aux Antilles, ces renforcements d'Alizés, qui ont lieu pendant la saison sèche, de Décembre à Février [3], provoquent un climat de houle très agité, avec des hauteurs maximales parfois comparables à celles de cyclones. Ainsi, les hauteurs significatives maximales enregistrées lors du cyclone Marilyn en Septembre 1995 au large de la Martinique fut de 4,55 m tandis que celle atteinte lors d'un renforcement d'Alizés en Février 1996 fut de 4,09 m. L'impact sédimentologique de tels épisodes sur les plages et l'avant-côte, peut être important en raison de leur amplitude mais surtout de leur durée. Ils peuvent en effet, durer plusieurs jours alors que le passage d'un cyclone se fait en quelques heures. Leur impact sédimentaire a été étudié sur un système côtier microtidal à

30°	63°W	60°	Martinique
-----	------	-----	------------

et donc les houles, viennent soit du secteur E à ESE soit du secteur NE. D'Avril 1995 à Mars 1997, un houlographe directionnel, installé au large de Grand'Rivière, a mesuré les houles venant de l'Atlantique (Fig. 2).

Figure 2 :
Fréquences des hauteurs significatives de la houle au large de Grand'Rivière entre Avril 1995 et Mars 1997, réparties par type de houle.

La fréquence annuelle des fortes houles a été de 21 % sur la période étudiée. Parmi celles-ci, les épisodes dus à un renforcement des Alizés ont été 5 fois plus fréquents que les houles cycloniques. Les fortes houles d'Alizés se partagent en deux directions dominantes, celles du secteur E à ESE, plus fréquentes que celles du secteur NE. Ces dernières ont eu lieu d'Octobre à Janvier alors que celles à dominante ESE ont eu lieu de Janvier à Mars (fig. 3). Au cours des mois de Février 1996 et 1997, respectivement 14 et 18 % des houles dépassaient 3 m, alors que pendant les autres mois de l'année ces pourcentages sont inférieurs à 4 %.

4. Méthodes

L'impact sédimentaire de ces épisodes a été abordé par l'étude de l'évolution du volume de sédiments sur les plages et l'avant-côte, et par une analyse morphodynamique. Les volumes des plages sont difficiles à quantifier car la majorité de la dynamique du profil est subaquatique, zone inaccessible dans les zones microtidales, en raison du déferlement des vagues. Les variations de la plage subaérienne représentent seulement une petite fraction des changements du volume total de l'estran et la zone subtidale. Néanmoins, son évolution et les tendances observées sur la plage subaérienne constituent une première indication des processus qui s'y produisent.

Afin d'étudier l'impact morphosédimentaire de ces fortes houles, un suivi topométrique et bathymétrique a été réalisé lors de trois campagnes échelonnées sur deux ans, en Juillet 1995, en Octobre 1996 et en Mai 1997. Ces mesures ont permis d'estimer les variations de volumes sédimentaires à différentes échelles de temps: au cours d'un épisode de renforcement des Alizés, au cours d'une saison

sèche et sur 2 ans, pour étudier les compensations de volumes sédimentaires entre la saison sèche et la saison humide.

Figure 3: Fréquence mensuelle des houles extrêmes à Grand'Rivière de 1995 à 1997

Les différences d'altitude ont permis de localiser les zones d'érosion et d'accumulation sur les estrans et l'avant-côte à l'exception de la zone de déferlement, ce qui donne également des indications sur les périodes durant lesquelles le transport est longitudinal ou transversal [4].

4.1. Le réseau de points topométriques et les profils bathymétriques

D'une mission à l'autre, les points du réseau topographique ont été positionnés à partir d'une station de base, matérialisée par un repère fixe. L'ensemble des points du semis sur la plage a ensuite été repéré à chaque mission en fonction d'un premier profil de référence suivi des autres profils qui se succèdent tous les 25 mètres. Les profils partent tous du haut de plage vers la mer, les derniers points étant relevés à environ 0,4 m sous le niveau moyen qui se situe à - 0,56 m. Les profils de plages ont été relevés à l'aide d'un tachéomètre électronique.

4.2. La zone d'étude sur les plages

Les variations volumétriques des estrans ont été mesurées sur une zone délimitée. Les extrémités de la plage ont été volontairement éliminées des calculs, en raison de leur faible représentativité. En effet, l'extrémité Ouest de la plage de l'Anse Bagasse a été remblayée entre la deuxième et la troisième campagne et l'extrémité Est est une zone évolutive de blocs et de galets. L'élimination des extrémités n'est pas gênante puisque la zone considérée comme étant la plus active de la plage est située dans sa partie centrale (fig. 1). Cette zone, correspond à une surface commune aux trois campagnes de mesures. Sa superficie est d'environ 6330 m² sur la plage de l'anse Bagasse et de 2425 m² sur la plage de l'anse Morne Rouge.

4.3. Le calcul des volumes

Les changements de volumes sédimentaires des estrans ont été calculés à l'aide du logiciel SURFER à partir de modèles numériques de terrain construits par interpolation entre les points de mesure. Un modèle numérique a été calculé pour chacune des trois campagnes de mesures, en Juillet 1995, Octobre 1996 et Mai 1997. Le volume calculé de la plage est compris entre la pente de la plage et une isosurface située à l'altitude la plus basse des points de mesure. Cette isosurface sert de référence aux calculs des différentes campagnes. Le volume calculé ne correspond donc pas au volume total de sédiments. Le but est de connaître les différences de volumes sédimentaires entre chaque mission. Celles-ci sont calculées par soustraction entre deux volumes correspondant à des dates différentes, ce qui permet d'évaluer les volumes déplacés. Des soustractions ont également été faites sur les altitudes entre deux missions afin de déterminer leurs variations. Celles-ci, cartographiées, montrent les zones érodées, engraisées, ou en équilibre sur la zone d'étude. Les erreurs de manipulation sur le terrain et de calcul des volumes peuvent se cumuler. Il en résulte une incertitude sur les résultats. Cette erreur sur l'altimétrie des points du semis topographique, évaluée à 2 cm, engendre une incertitude sur le calcul des volumes.

5. Evolution morphologique

5.1 Bilan sédimentaire au cours d'une journée de renforcement des Alizés

Des mesures ont été faites sur la plage de l'anse Bagasse juste avant et après une journée de tempête due à un renforcement des Alizés générant des houles de nord-est, les 23 et 24 Octobre 1996. En une journée de tempête générant des hauteurs significatives de la houle de 1,50 m, le volume érodé est d'environ $2350 \text{ m}^3 \pm 530 \text{ m}^3$, qui correspond à une perte d'environ 27 à 35 % du volume de référence du 23 Octobre, soit 0,37 m sur toute la surface. La figure 4 A montre une érosion préférentielle de la partie Est de la zone d'étude, avec une légère accumulation à l'Ouest. Les échanges de sédiments se sont donc faits principalement dans le sens transversal par rapport au trait de côte, avec un faible transfert secondaire longitudinal vers l'Ouest. Cette érosion mesurée correspond à une seule journée de tempête or, un épisode de renforcement des Alizés dure généralement de 3 à 10 jours. Le volume de sédiments enlevés, assez important lors de la première journée, ne sera évidemment pas le même sur l'ensemble de la période, mais cela montre l'impact morphosédimentaire de ce type d'événement.

5.2 Bilan sédimentaire au cours d'une saison sèche

A l'échelle d'une saison sèche, entre Octobre 1996 et Mai 1997, 7 épisodes de fortes houles dues à un renforcement des Alizés ont eu lieu, générant majoritairement des houles de NE. Durant cette période, $1080 \text{ m}^3 \pm 430 \text{ m}^3$ de

sédiments sont érodés sur la plage de l'anse Bagasse, ce qui représente un abaissement moyen de la plage de 0,20 m sur la zone d'étude.

Figure 4: Variations altimétriques sur la plage Est de Grand'Rivière

A.- En une journée de renforcement des Alizés, B.- Sur la saison sèche étudiée, C.- Sur deux ans.

La figure 4 B illustre les différences d'altitudes entre les deux mois et indique qu'il y a eu accumulation sur le haut estran (max. 90 cm) et une érosion sur la partie basse (max. 50 cm). La disposition des zones érodées et accumulées, parallèle au trait de côte, montre qu'il y a eu probablement un transfert de sédiment qui s'est effectué transversalement du bas vers le haut estran au cours de la saison sèche. Sur la même période, le volume de référence de la plage de l'anse Morne Rouge a pratiquement doublé. Le bilan est en faveur d'une nette accumulation, d'environ $660 \text{ m}^3 \pm 220 \text{ m}^3$. L'accumulation s'est faite sur le bas estran parallèlement au trait de côte. La partie érodée atteint 50 cm par endroit et se trouve du côté Sud de la zone d'étude, ce qui s'explique par une arrivée oblique de la houle sur cette plage, la houle venant du nord-est après réfraction autour du cône de Grand'Rivière. La diminution du volume de référence de la plage de l'anse Bagasse sur la même période, permet d'émettre l'hypothèse que les sédiments perdus sur la plage Est pendant la saison sèche servent à recharger la plage Ouest. En effet, durant la saison sèche, les houles sont orientées parallèlement à la plage Est, ce qui explique le transit sédimentaire transversal dominant sur la partie Est. Les sédiments, amenés au large, peuvent ensuite être transportés sur la partie Ouest en raison du changement d'incidence de la houle par réfraction sur le delta, ce qui favorise le transit longitudinal. Pendant la même période, sur l'avant-côte, l'analyse des variations altimétriques, entre -6 et -15 m de profondeur, a fait

apparaître d'importants changements altimétriques, supérieurs à 50 cm (fig.5). Les zones d'érosion à l'Ouest sont disposées autour du cône alluvial, préférentiellement sur la partie Est. L'accumulation la plus importante se trouve entre le cône et le lit de la rivière. Le profil situé dans l'axe de l'embouchure de la rivière a subi une érosion de 1,8 m, tandis que les profils localisés sur le plateau à l'Est se sont peu érodés. Malgré ces modifications morphologiques, le calcul des volumes de l'avant-côte entre ces deux dates a montré que les variations ne sont pas significatives. La différence de volume est de 20 000 m³, ce qui est dans la marge d'erreur. Donc, même s'il existe des modifications morphologiques sur l'avant-côte, globalement le volume reste le même, et ce malgré le passage de nombreuses perturbations.

Figure 5: Variations altimétriques de l'avant-côte entre Juillet et Octobre 1996
Les différences de profondeurs traduisent l'évolution positive (accumulation), négative (érosion) ou nulle (équilibre) de l'avant-côte. Les lignes en pointillés noirs représentent les isobathes.

5.3 Bilan sur deux ans

Un bilan a été effectué sur près de deux ans, entre Juillet 1995 et Mai 1997, englobant deux saisons cycloniques et deux saisons sèches. Le bilan sédimentaire de la plage de l'anse Bagasse est en faveur d'une très légère accumulation de sédiments, de 504 m³, avec une incertitude de ± 395 m³, soit une accumulation de 110 à 900 m³ de sédiments. La comparaison des altitudes indique que cette accumulation s'est produite sur la partie Est de la zone d'étude où elle atteint 80 cm par endroit (fig. 4 C). Ce bilan montre que la saison humide permet le rechargement des plages malgré le passage de cyclones. Durant les saisons cycloniques exceptionnelles de 1995 et de 1996, 11 tempêtes et cyclones tropicaux modérés sont passés à proximité de l'île, alors que le nombre de cyclones générant une houle d'au moins 1,5 m est de 4 par an. Le cyclone ayant produit les plus fortes houles est passé près de l'île avec une catégorie 1 sur l'échelle de Saffir-Simpson¹ qui en compte 5. De plus, durant les deux saisons sèches étudiées, 15 épisodes de renforcement des Alizés ont été dénombrés. Or le bilan sur deux ans est en faveur d'une légère accumulation, les pertes de sédiments

¹ Echelle de Saffir-Simpson: Classification des cyclones, allant de 1 à 5, basée sur la vitesse du vent.

durant les épisodes de renforcement des Alizés et durant les perturbations cycloniques sont donc compensées à l'échelle annuelle. D'après ces mesures, il apparaît que le passage de cyclones "modérés" n'influence pas l'équilibre des plages de Grand'Rivière à l'échelle saisonnière. Ce résultat rejoint celui de Mearns [5] qui a étudié l'impact d'un cyclone tropical sur le plateau continental d'une baie de Caroline du Nord. Le cyclone de catégorie 3, Diana (Septembre 1984), a généré des hauteurs significatives de houle de 4 à 4,5 m en passant à 330 Km de la zone. Les mesures de post-tempête, réalisées 3 mois après son passage, n'ont décelé aucune modification sur la distribution des sédiments. Mearns explique cela par une pénurie relative de sédiments pour le transport. D'après Mearns, la faible réponse morphodynamique de la baie semble refléter un état d'équilibre lors de conditions de haute énergie, qui résulte d'une exposition fréquente aux tempêtes intenses. De la même façon, Boss [6] a fait des mesures avant et après le passage du cyclone Andrew sur les plages et l'avant côte des Bahamas. Sa trajectoire est passée à 20 Km des îles avec une catégorie 3 sur l'échelle de Saffir-Simpson. Les comparaisons bathymétriques avant et après le passage du cyclone n'ont montré aucune modification notable. Boss explique ce fait par les modifications des caractéristiques dynamiques du cyclone à l'approche des Bahamas, sa perte de vigueur et surtout sa vitesse rapide de déplacement ont limité l'impact sédimentaire du cyclone.

Conclusion

Les fortes houles qui se propagent sur le nord de la Martinique sont de deux types: les houles cycloniques qui ont lieu de Juin à Octobre et les houles dues à un renforcement des Alizés dont les épisodes les plus forts se produisent de Décembre à Février. L'impact des épisodes de renforcement des Alizés sur les plages est considérable puisqu'en une journée, au moins 27 % du volume de la plage étudiée a disparu. Les mesures ont montré que cette érosion n'est pas compensée à l'échelle d'une saison sèche, puisque le bilan est toujours négatif. Par contre, le bilan sur deux ans est en faveur d'une accumulation, ce qui met en évidence les compensations sédimentaires qui existent entre saison humide et sèche. Les conditions hydrodynamiques durant la saison humide sont en effet favorables au transit de sédiments sur l'avant côte et au rechargement des plages. Le bilan équilibré de la plage Est sur deux ans malgré le passage de nombreux cyclones modérés fait apparaître que les cyclones "majeurs" sont probablement les agents essentiels de l'évolution du trait de côte de ces régions. Une modélisation des conditions hydrodynamiques et sédimentaires, à partir de différents scénarios climatiques, permettra d'approfondir l'impact des cyclones majeurs.

Remerciements

Nous tenons à remercier le Conseil Général de la Martinique pour le soutien financier qu'il a apporté à cette étude.

Bibliographie

- [1] HORRER P.L., 1948, Southern swell and waves from tropical storm at Long Beach, California, Wave report n°76, 11 pp, Scripps Institution of Oceanography, University of California, La Jolla, CA 92093.
- [2] METTLACH T., 1994, Analysis and prediction of ocean swell using instrumented buoys, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, vol. 11, n° 2, pp 506-524.
- [3] PAGNEY F., 1993, Les Antilles françaises, des îles sous triple hypothèse: sismique, volcanique et cyclonique, Historiens-Géographes, n°335, p 361 - 377.
- [4] MORTON R.A., GIBEAUT J.C., 1995, Meso-scale transfer of sand during and after storms: implications of prediction of shoreline movement, Marine Geology, vol. 126, Special issue n° 1/4, special issue: large-scale coastal behavior, pp 161-179.
- [5] MEARNS D.L., HINE A.C., RIGGS S.R., 1988, Comparison of sonographs taken before and after Hurricane Diana, Onslow Bay, North Carolina, Geology, n°16, pp 267-270.
- [6] BOSS S.K., 1993, Impacts of hurricane Andrew on carbonate platform environments, northern Great Bahama Bank, Geology, v.21, p 897-900.